جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۲۴۳- ۲۲۷

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2020.67338.1000

مقاله پژوهشی

بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸

محمد مرادی[۱] - دانشیار گروه هواشناسی همدیدی و دینامیکی پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران.

عباس رنجبر سعادت‌آبادی- دانشیار گروه پیش‌آگاهی مخاطرات جوی پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۶

چکیده

در این پژوهش، دو سامانه بارشی زمستانه که در روزهای نهم تا دوازدهم ماه‌های ژانویه و فوریه سال ۲۰۲۰، به ترتیب سبب سیلاب در استان سیستان و بلوچستان و بارش برف سنگین در استان گیلان شده است، از دیدگاه همدیدی بررسی شد. نتایج نشان داد هرچند این دو سامانه از نظر شکل ظاهری با هم متفاوت‌اند، ولی هر دو هسته سردی دارند و از نظر نحوه تشکیل و تقویت مشابه هستند. تقویت ناوه ارتفاع تراز میانی، ایجاد حرکت چرخندی و فرارفت تاوائی نسبی مثبت در شرق ناوه، وجود همگرایی در سطوح پایین، ایجاد یا تقویت کم‌فشار در سطح زمین در موقعیت شرق ناوه، در تشکیل و تقویت این دو سامانه بارشی نقش اصلی را برعهده دارند. این سازوکارها با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های کم‌فشار عرض‌های میانی هماهنگ است. یکی از تفاوت‌های آشکار این دو سامانه، تداوم و افزایش سرعت باد شمالی در سامانه اولی است که در اثر تغییر نصف‌النهاری جت قطبی ایجاد شده است. این شرایط سبب شده است تا انحناء چرخندی ایجاد شده در محور جت جنب حاره‌ای، در سامانه اولی بیشتر شود و به سوی جنوب نیز امتداد یابد. این انحناء در سامانه اولی در شرق دریای سرخ و در سامانه دومی در شمال شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است. همچنین در سامانه اول فرارفت هوای گرم و مرطوب از دریای عرب و دریای عمان و در سامانه دوم فرارفت هوای سرد از روی دریای خزر شرایط مناسبی را برای به ترتیب بارش همرفتی و بارش برف سنگین فراهم کرده است.

کلیدواژه‌ها: برف سنگین گیلان، سیلاب سیستان و بلوچستان، کم‌فشار بریده.

---

۱ نویسنده مسئول : ۰۹۱۲۴۲۳۷۹۵۴ Email : moradim36@gmail.com

۱-مقدمه

رویدادهای حدی، رویدادهایی شدید و تصادفی هستند که بندرت رخ می‌دهند و در دنباله توزیع فراوانی، همواره دورتر از نقطـه تمرکز توزیع قرار می‌گیرند (مرادی،۱۳۹۷). بارش‌های ســیل‌آســا و ریزش برف ســنگین ازجمله رویدادهای حدی هستند که فراوانی رخداد آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است و نظر پژوهشگران هواشناسی و اقلیم‌شناسی را به خود جلب کرده است. برخی پژوهشگران سعی کرده‌اند تا اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا و برف سـنگین را بررسـی کنند و برخی نیز با به‌کارگیری روش‌های آماری مناسب، احتمال تکرار این پدیده‌ها را در زمان‌های مختلف فرمول‌بندی نموده‌اند. برخی پژوهشـــگران نحوه رخداد این پدیده‌ها را از دیدگاه‌های همدیدی و فیزیکی بررسی کرده و برخی نیز با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، این موارد را شبیه‌سازی کرده‌اند. در زیر به‌طور کوتاه برخی از پژوهش‌های اخیر در ارتباط با بارش‌های سیل‌آسا و برف سنگین بررسی می‌شود.

ماتلیک و پوسـت (2008)[1] در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱، با انتخاب ۱۰۷ ایستگاه همدیدی، آب‌شناسی و باران سنجی، بارش‌های شدید و حدی استونیا را بررسی کردند. این پژوهشگران با رسم دستی نقشه‌های همدیدی و جبهه گذاری آن‌ها، مســیر حرکت چرخندهای عبوری از کشــور را مشــخص کردند و نشــان دادند که در همه موارد کم‌فشارهای جبهه‌ای عامل رخداد این بارش‌ها است.

چن و همکاران (2011)[2]، بارش شـدید باران روزهای ۲۷ و ۲۸ ژون ۲۰۰۸ در جنوب غرب تایوان را بررســی کردند. آن‌ها با بررسـی داده‌های مشـاهداتی، محصولات رادار و مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا، بارش ۲۰۴ و ۱۶۱/۵ میلی‌متری جنوب‌غرب تایوان در روزهای ۲۷ و ۲۸ ژون، نشان دادند که هوای مرطوب از اقیانوس به سوی جنوب‌غرب تایوان در هر دو روز به‌طور پیوسـته انتقال یافته است. این پژوهشگران نشان دادند که باد مؤثر سطوح پایین برای انتقال هوای مرطوب به سوی ارتفاعات جنوب‌غرب تایوان، ایجاد همرفت و بارش شدید، حدود ۱۰ متر بر ثانیه است که در روز ۲۷ ژوئن رخ داده است. چن و همکاران (2013)، بارش شدید باران روز ۱۱ اکتبر ۲۰۰۹ در شــمال‌شـرق تایوان را در فصـل مونسـون بررسـی کردند و با استفاده از مدل WRF اثر صعود اروگرافیکی و مانع کوهسـتان را در این بارش شـدید شبیه‌سازی کردند. بررسی همدیدی این پژوهشگران نشان داد که بادهای سطوح زیرین جو روی مناطق شـرق دریای چین و بادهای جنوب شـرقی روی شمال اقیانوس آرام، در منطقه شمال‌شرق تایوان همگرا شـده‌اند و عامل ریزش بارش شدید باران در این منطقه بوده‌اند. در این روز در ایستگاه لان-یانگ در شمال‌شرق تایوان ۶۳۱/۵ میلی‌متر بارش ثبت شده است. نتایج شبیه‌سازی این پژوهشگران نشان داد که با حذف اثر اروگرافی، مقدار بارش روزانه در ایستگاه لان-یانگ و منطقه شمال شرق تایوان به کمتر از ۵۰ میلی‌متر کاهش یافت. با افزایش اثر اروگرافی به صورت شیب جنوبی به مدل، میزان بارش منطقه شمال‌شرق تایوان به ۲۵۰ میلی‌متر افزایش

1 Matlik and Post
2 Chen et al.

یافت. این پژوهشـگران در یک مطالعه دیگر (۲۰۱۳)، سـازوکار توسعه بارش شدید باران را در یک حالت موردی دیگر بررسـی کردند. آن‌ها بارش شدید باران را که از عصر روز دوم ژوئن تا صبح روز سوم ژوئن ۱۹۸٤ در شمال تایوان ریزش کرده بود را بررسـی و شـبیه‌سازی کردند و نشان دادند که یک جبهه با ایجاد شرایط کژفشاری، عامل اصلی این ریزش بوده است.

چن و همکاران (۲۰۱۸)، بارش شدید باران ۱۲–۱۱ ژوئن ۲۰۱۲ در شمال تایوان را بررسی کردند و نشان دادند که بارش سنگین ٤۳۵ میلی‌متری شمالغرب سواحل تایوان و ٤۷۷ میلی‌متری منطقه تایپه که از ساعت ۲۰۰۰ گرینویچ روز ۱۱ ژوئن تا سـاعت ۰۸۰۰ گرینویچ روز ۱۲ ژوئن ثبت شـده است، در اثر وجود یک جبهه سرد ناشی از یک سامانه امگا شکل ریزش کرده است. این پژوهشگران با انتخاب چهار دامنه با بعد افقی ۲۷، ۹، ۳ و یک کیلومتر، نحوه فعالیت جبهه سـرد سـامانه فوق را با اسـتفاده از مدل WRF شـبیه‌سازی کردند. آن‌ها با حذف اثر عوارض زمین و ارتفاعات از مدل، نشان دادند که جبهه سرد و منطقه فعالیت بارشی آن به سوی جنوب جابجا می‌شود.

احمدی و جعفری (۱۳۹۵)، بارش سیل‌آسای ۲۸ تا ۳۱ تیرماه ۱۳۹٤ در نیمه شمالی، مرکزی و غربی ایران را از دیدگاه همدیدی بررسـی کردند. آن‌ها با بررسی نقشه‌های فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و امگای تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسـکال، میدان باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسـکال و محاسـبه شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کاوش جو فرودگاه مهرآباد، نشان دادند که گسترش جنوب سوی پرفشار روی دریای سیاه و نفوذ شمال سوی کم‌فشار پاکستان، با ایجاد شـیو فشـاری شـدید، سـبب ریزش بارش‌های سـیل‌آسا در منطقه مطالعاتی شده است. رنجبر و همکاران (۱۳۹۷)، با اسـتفاده از مدل WRF و انتخاب سه دامنه با تفکیکی افقی متفاوت ۱۸، ٦ و ۲ کیلومتر و بازه زمانی یک سـاعت، سیلاب منطقه کن و سیچان مورخ بیست و هشتم تیرماه نود و چهار را شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که نفوذ شمال سوی هوای گرم عرض‌های جنوبی و همراهی عبور ناوه سطوح میانی و بالایی وردسپهر و ریزش هوای سرد در این ترازها ناپایداری شدیدی را در منطقه ایجاد کرده است. بررسی این حالت موردی نشان داد که جبهه سرد فعال مجاور سطح زمین به علت رسیدن آن به تهران در ساعت بیشینه دما، تقویت شده و با افزایش ناپایداری هوا در منطقه، بارش‌های رگباری شدید ایجاد کرده است. معصوم پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی بارش‌های همرفتی شـهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری، با استفاده از داده‌های جو بالای تبریز در دوره آماری ۲۰ ساله ۲۰۰۵–۱۹۸۰، سهم بارش‌های همرفتی این ایستگاه را تعیین کردند و نشان دادند که سهم همرفت در بارش‌های دوره گرم فقط بیسـت درصـد از بارش‌های منطقه را به خود اختصاص داده است و عامل همرفت بیش‌ترین نقش را در بارش ماه‌های ژوئن و مه داشـته اسـت. راسـتگو و رنجبر سـعادت‌آبادی (۱۳۹۷)، با استفاده از داده‌های بارندگی ۸ ایسـتگاه هواشـناسی استان بوشهر در یک دوره آماری ۱٤ ساله و به‌کارگیری شاخص پایه صدک، بیش‌ترین بارش روزانه حدی این اسـتان را ۸٤/۲ میلی‌متر برآورد کردند و نشـان دادند که وقوع بارش‌های شدید و حدی در استان

بوشهر، نتیجه استقرار یک سامانه بندالی از نوع رکس یا امگا در تراز میانی جو و سامانه کم فشار سودانی سطح زمین در جنوب غرب ایران است.

چنگنون و چنگنون (2005)[1]، توفان‌های برف مخرب در دوره آماری ۲۰۰۱–۱۹۴۹ در ایالات‌متحده آمریکا را بررسی کردند و ۱۵۵ توفان برف با خسارت‌های زیانبار را شناسایی کردند. آن‌ها نشان دادند که شمال شرق ایالات‌متحده امریکا با ۷۹ مورد، دارای بیش‌ترین فراوانی است و شدیدترین توفان برف در این منطقه، ۷/۳ میلیارد دلار خسارت داشته است که بالاترین خسارت مربوط به یک توفان فاجعه‌بار برف است.

لوپز–مورنو و همکاران (2011)[2]، اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی رخداد بارش برف سنگین در کوه‌های پیرنه در اروپا را با استفاده از یک مدل اقلیمی (HIRHAM) با دوره کنترل ۱۹۹۰–۱۹۶۰ و دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B2، را در قرن بیست و یکم (۲۱۰۰–۲۰۷۰)، شبیه‌سازی کردند. آن‌ها نشان دادند که شدت و فراوانی ریزش برف سنگین در هر دو سناریو، در ارتفاع هزار متری از سطح زمین کاهشی است ولی در دو هزار متری تغییر قابل‌توجهی ندارد. همچنین در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح زمین، شدت و فراوانی ریزش برف سنگین فقط تحت سناریوی A2 کاهشی است.

کاواس و همکاران (2016)[3]، اثر تغییر اقلیم بر رخداد بارش برف سنگین در ژاپن را با استفاده از یک مدل اقلیمی شبیه‌سازی کردند. این پژوهشگران با استفاده از یک مدل اقلیمی تحت سناریوی RCP8.5، دما و بارش را برای دوره ۲۰۹۹–۲۰۸۰ برآورد کردند و نشان دادند که میانگین دمای سطح زمین نسبت به دوره ۱۸۸۰–۱۸۶۱، چهار درجه سلسیوس افزایش می‌یابد که در نتیجه آن فراوانی ریزش برف سنگین در مناطق مرکزی ژاپن هر ده سال یکبار رخ می‌دهد و مجموع بارش زمستانه در این مناطق به‌طور قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت. کاواس و همکاران (۲۰۱۸)، توزیع جغرافیایی بارش برف سنگین در مناطق مختلف ژاپن از غرب تا شمال‌شرق را بررسی کردند و با استفاده از یک مدل همادی، به‌کارگیری داده‌های باز تحلیل پنجاه‌وپنج‌ساله و انتخاب ده عضو، شرایط همدیدی منجر به ریزش این بارش‌ها را شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که برف سنگین تحت تأثیر چرخندهای فوق حاره‌ای و ریزش هوای سرد از اواسط ژانویه تا پایان فوریه در مناطق نزدیک به آب‌های اقیانوس آرام، از اوایل دسامبر تا اواسط ژانویه در مناطق نزدیک دریای ژاپن و در ماه‌های نوامبر و مارس در مناطق مرتفع ریزش می‌کند. کاواس و همکاران (2020)، تغییرات پوشش برف کوهستان‌های مرتفع مناطق مرکزی ژاپن را تحت اثر تغییر اقلیم بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از یک مدل اقلیمی غیر هیدرواستاتیک با قدرت تفکیک بالا (NHRCM)، تغییرات پوشش برف را شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در سالی که پوشش برف کم است و میانگین دمای هوا در اثر گرمایش جهانی دو و

1 Changnon and Changnon
2 Lopez-Moreno et al.
3 Kawase et al.

چهار کلوین افزایش یافته است، بارش برف از اواخر دسامبر تا اواخر فروردین در ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر از سطح متوسط دریا افزایش می‌یابد و در نتیجه پوشش برف در این ارتفاعات نیز توسعه پیدا می‌کند. در ارتفاعات زیر ۵۰۰ متر نیز در مناطقی با افزایش متوسط دمای چهارکلوین، فراوانی بارش برف خفیف، متوسط و سنگین کاهش می‌یابد ولی در این مناطق وقتی که متوسط دما در اثر گرمایش جهانی دو کلوین است فقط فراوانی بارش برف سنگین افزایش خواهد یافت.

رضائی و همکاران (۱۳۸۹)، بارش برف در جلگه مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن را در دوره آماری ایستگاه‌های استان گیلان از بدو تأسیس تا سال ۱۳۸۹، بررسی کردند و با استفاده از آزمون گرافیکی من–کندال، نشان دادند که فراوانی ریزش برف در ایستگاه رشت دارای روند صعودی است ولی در ایستگاه‌های انزلی، آستارا و منجیل روند نزولی وجود دارد. فهیمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱)، برف سنگین فوریه ۲۰۰۵ استان گیلان را از دیدگاه همدیدی بررسی کردند و با استفاده از کمیت فشار سطح متوسط دریا و تکنیک تحلیل خوشه‌ای، سه الگوی مناسب برای ریزش برف سنگین گیلان ارائه دادند. نفوذ پشته فشاری ناشی از پرفشار بالکان، نفوذ پشته فشاری ناشی از پرفشار سیبری و ترکیب پشته فشاری ناشی از این دو پرفشار و نفوذ آن به سواحل دریای خزر، سه الگوی معرفی شده برای ریزش برف سنگین گیلان معرفی شده است. مومن‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، سازوکار همدیدی و دینامیکی بارش‌های سنگین برف در حاشیه جنوب‌غربی دریای کاسپین در یک دوره آماری ۵۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۲ را بررسی کردند و ضمن شناسایی ۳۶ موج بارش برف سنگین، ۸۰ روز با بارش سنگین برف را در منطقه آشکار کردند. این پژوهشگران دو الگوی مجزای واچرخندی با منشاء قاره‌ای و اقیانوسی، به‌تنهایی و یا به صورت جفت شده با چرخند عرض‌های پایین‌تر را عامل اصلی ریزش برف سنگین در حاشیه دریای خزر معرفی کردند. غفاریان و همکاران (۱۳۹٤)، به منظور یافتن ساختار الگوهای بزرگ مقیاس و همدیدی برف سنگین استان گیلان، از داده‌های بایگانی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز تحقیقات جوی آمریکا در دوره آماری ۲۰۱٤–۱۹٦٤ استفاده کردند و ناهنجاری فشار سطح متوسط دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای فشاری ۱۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال را نسبت به دوره سی‌ساله ۲۰۱۰–۱۹۸۱ به دست آورده و تحلیل کردند. آنها نیز مانند برخی دیگر از پژوهشگران نشان دادند که در تمامی الگوهای منجر به بارش برف سنگین در گیلان، گسترش پشته فشاری ناشی از پرفشار سیبری یا بالکان و یا ترکیب هر دو و استقرار آن به روی دریای خزر، عامل اصلی ناپایداری و انتقال رطوبت به سواحل شمالی ایران است. خالدی و همکاران (۱۳۹٦)، ریزش برف سنگین جلگه گیلان در بهمن ۱۳۹۲ را از دیدگاه همدیدی بررسی کردند. آنها با استفاده از داده‌های بایگانی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز تحقیقات جوی آمریکا، مانند فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و مؤلفه‌های میدان باد، نشان دادند که پشته فشاری ناشی از پرفشار روی اروپا به سواحل جنوبی

دریای خزر نفوذ می‌کند و ضـمن ایجاد اختلاف شـدید دما بین آب و هوا در سواحل دریای خزر و در نتیجه ایجاد همرفت و صعود هوا، بارش‌های شدیدی در این منطقه ایجاد می‌کند.

در روزهای نهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰، در اثر عبور یک ســامانه بارشــی قوی از جنوب ایران، ســیلاب و آب‌گرفتگی شدیدی در مناطق مختلف استان‌های هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان ایجاد شد و خسارات مالی زیادی به بار آورد. در روزهای نهم تا دوازدهم فوریه این سال نیز یک کم‌فشار بریده با حرکت آهسته از روی دریای سیاه و شمال دریای خزر عبور کرد و ضمن کاهش دمای کشور سبب ریزش بارش برف سنگین در استان‌های حاشیه دریای خزر به ویژه استان گیلان شد. هدف از این پژوهش مقایسه شرایط همدیدی منجر به چگونگی تقویت این دو سامانه است.

۲-مواد و روش‌ها

فعالیت بارشـی سـامانه روزهای نهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰، در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان و سامانه بارشی روزهای نهم تا یازدهم فوریه این سال در استان گیلان از شدت بیشتری برخوردار بود. ازاین‌رو در هر استان چند ایستگاه همدیدی انتخاب شد و مقدار بارش شش‌ساعته ثبت شده در آن ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد. برای تحلیل مقدار بارش روزانه از مجموع بارش ثبت شده در ساعت‌های ۰٦۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ و ۰۰۰۰ گرینویچ روز بعد استفاده شده است. در این پژوهش برای تعیین مقادیر حدی بارش در جنوب‌شرق ایران، با اســتفاده از نرم‌افزار مینی تب، بهترین منحنی بر داده‌های بیش‌ترین بارش روزانه دوره آماری منتهی به ســال ۲۰۱۹ برازش داده شـد و سپس مقدار بارش متناظر با پنج درصد بالای منحنی، به دست آمد. این مقدار برای آستانه بالای بیش‌ترین بارش ۲٤ ساعته در نظر گرفته شد (ورشاویان و همکاران، ۱۳۹۰؛ الکساندر و همکاران، ۲۰۰٦[1]).

برای بررسـی همدیدی دو سامانه موردی انتخابی، میدان فشار و ارتفاع تراز میانی، حرکت بالاسو در تراز میانی، فرارفت دما و نم ویژه در تراز زیرین و میدان باد در سطوح فوقانی طی روزهای بارشی تحلیل شد. داده‌های مورد نیاز از بایگانی NCEP/NCAR در روی یک شبکه منظم محدود به صفر تا هشتاد درجه طول جغرافیایی شرقی و ده تا شصت درجه عرض جغرافیایی شمالی که در آن امواج همدیدی آشکار می‌شوند، استخراج شد. به کمک برنامه‌های رایانه‌ای، تاوائی نسبی، فرارفت تاوائی نسبی و فرارفت دما بر اساس مبانی نظری محاسبه شد.

1 Alexander et al.

۳-نتایج و بحث

۳-۱-تحلیل داده‌های بارش ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

بررسـی میزان بارش ایسـتگاه‌های بندرعباس و قشم در بازه زمانی شش‌ساعته در روزهای نهم تا یازدهم ژانویه ۲۰۲۰ نشـان داد که بارش در این ایسـتگاه‌ها، از شـش ساعت پایانی روز نهم شروع و تا شش ساعت آغازین روز یازدهم ادامه داشته است. در طول روز دهم از ساعت ۰۶۰۰ تا ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم، مجموع مقدار بارش در ایسـتگاه بندرعباس ۱۳۳ میلی‌متر و در ایسـتگاه قشم ۸۰ میلی‌متر ثبت شده است. بیش‌ترین مجموع بارش سه روزه اواخر نهم تا اواخر دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ ایستگاه‌های بارانسنجی استان هرمزگان در طالوار میناب و رمکان قشم به ترتیب با ۱۷۶ و ۱۷۰ میلی‌متر ثبت شده است.

میزان بارش ایسـتگاه‌های منتخب اسـتان سیستان و بلوچستان نیز در بازه زمانی شش‌ساعته در روزهای دهم تا دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ بررسـی شـد. نتایج این بررسـی نشـان داد که بیش‌ترین مقدار بارش در اسـتان سـیسـتان و بلوچستان، در روز یازدهم ژانویه ریزش کرده است. این کمیت در شش ساعت اول روز در ایستگاه خاش، در شش سـاعت دوم در ایستگاه ایرانشهر، در شش ساعت سوم در ایستگاه چابهار و در شش ساعت پایانی روز در ایستگاه سـراوان ثبت شده است. در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان، میزان بارش بیشتری ثبت شده است. بیش‌ترین مجموع بارش دو روزه دهم تا اواخر دوازدهم ژانویه ۲۰۲۰ ایستگاه‌های بارانسنجی استان سیستان و بلوچستان نیز در فنوج نیک‌شـهر به مقدار ۲۱۵ میلی‌متر گزارش شـده است. در بقیه ایستگاه‌های باران سنجی نیز میزان بارش بسیار زیادی ثبت شده است.

شایان ذکر است که شاخص مادن–جولین طی روزهای ششم تا دهم ژانویه، در فاز چهار و در روزهای یازدهم تا چهاردهم ژانویه در فاز پنج قرار گرفته اسـت. نتایج این بررسـی با نتایج برخی پژوهش‌های پیشـین (مانند: رنجبر سـعادت‌آبادی و سـوری، ۱۳۹٦؛ قائد امینی و ناظم‌السـادات، ۱۳۹۱) متفاوت اسـت. مطابق نظر این پژوهشگران فعالیت فازهای چهار و پنج مادن–جولین با دوره‌های خشک در بخش‌های مختلف ایران به ویژه جنوب شرق کشور همراه اسـت و فاز هشـت این شـاخص برای ریزش بارش زمستانه در مناطق شرقی ایران مناسب می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در بارش‌های همرفتی شدید باید عوامل مؤثر دیگری را جستجو کرد.

از بررسی میزان بارش ایستگاه‌های منتخب استان گیلان در بازه زمانی شش‌ساعته در روزهای نهم تا یازدهم فوریه ۲۰۲۰ دیده شـد که مجموع بارش روزانه ایسـتگاه آسـتارا در روز هشتم، نهم و دهم فوریه به ترتیب ۲۰، ۲۹ و ۳۰ میلی‌متر است. مجموع بارش این ایستگاه در این روزها ۷۹ میلی‌متر است که از این مقدار ٥٤ سانتیمتر برف گزارش شـده اسـت. در ایسـتگاه انزلی در روزهای نهم و دهم فوریه به ترتیب ۴۳ و ۸۸ میلی‌متر بارش ریزش کرده است. مجموع بارش ایستگاه انزلی در این مدت ۱۳۲ میلی‌متر است که از این مقدار فقط ۲ سانتیمتر بارش برف ثبت شده

است. مجموع بارش روزانه ایستگاه رشت در روزهای نهم، دهم و یازدهم فوریه به ترتیب ۲۳، ۷۹ و ۳۹ میلی‌متر ثبت شده است. مجموع بارش ایستگاه رشت در این مدت ۱٤۱ میلی‌متر است که از این مقدار ۱۰۳ سانتیمتر بارش برف ثبت شده است. مجموع بارش روزانه ایستگاه لاهیجان در روزهای نهم، دهم و یازدهم فوریه به ترتیب ۲۸، ۷٤ و ۱۰۱ میلی‌متر ثبت شده است. مجموع بارش این ایستگاه طی این مدت ۲۰۳ میلی‌متر است که از این مقدار ۹۷ سانتیمتر بارش برف گزارش شده است.

۳-۲-بررسی همدیدی

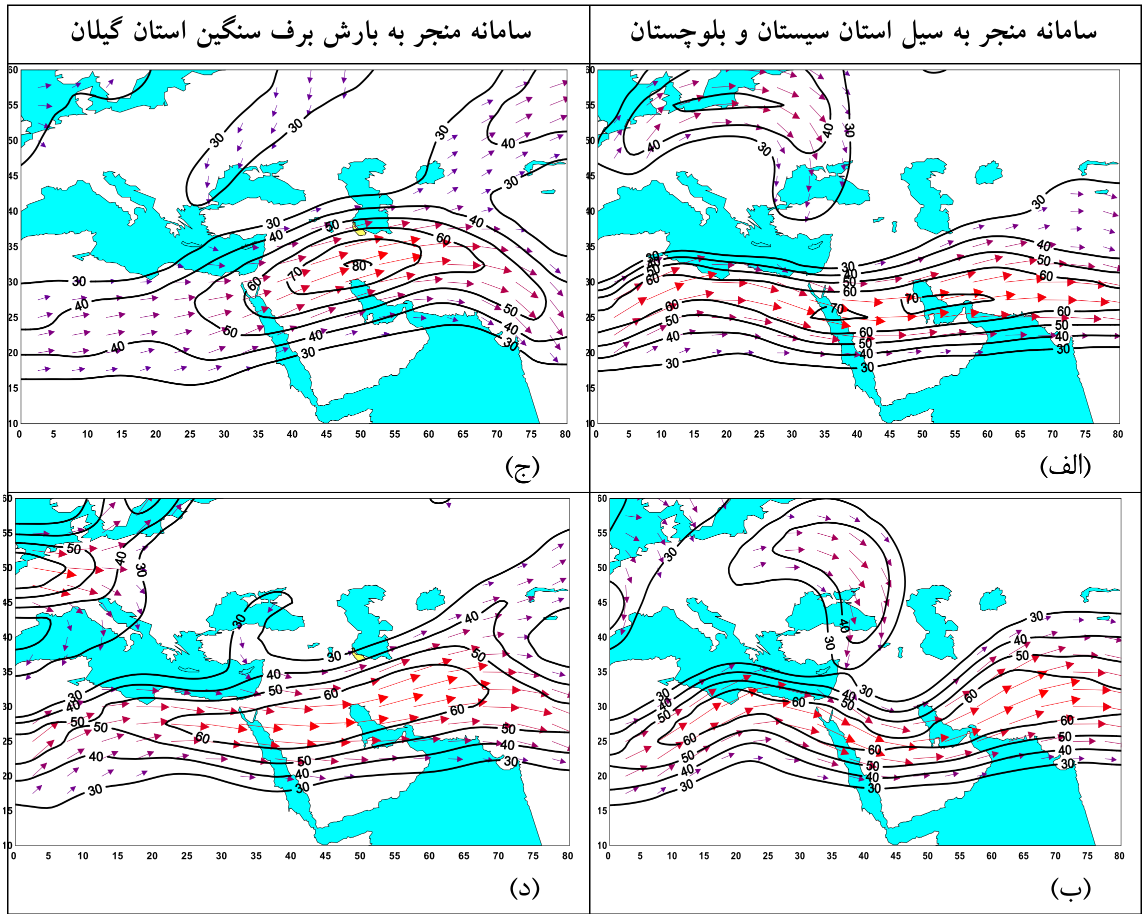
در این تحلیل برای اختصار، سامانه بارشی منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان به عنوان سامانه اول و سامانه بارشی منجر به بارش برف سنگین استان گیلان به عنوان سامانه دوم معرفی می‌شوند.

در سامانه اول، در اثر تغییر جهت جت قطبی از مداری به نصف‌النهاری، بادهای شمالی از شمال دریای سیاه به جنوب آن شارش یافته است و با بخش شمالی جت جنب حاره‌ای که محور آن در روی خلیج فارس و تنگه هرمز قرار دارد، در شرق دریای مدیترانه ترکیب شده است (شکل۱-الف). تداوم این شرایط سبب شده است تا محور جت جنب حاره در شرق دریای سرخ و عراق، انحناء چرخندی پیدا کند و هسته بیشینه سرعت باد به تدریج از شرق ایران خارج شود (شکل ۱-ب). در سامانه دوم محور جت قطبی نسبت به سامانه اول، در عرض‌های جغرافیایی بالاتری است به‌طوری که محور این جت در غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱-ج). تغییر نصف النهاری جت قطبی نیز به‌طور جزئی در غرب دریای سیاه قابل مشاهده است ولی تداوم آن کم و اندازه سرعت نیز نسبت به سامانه اول کمتر است و در نتیجه انحناء چرخندی در محور جت جنب حاره، در این حالت موردی ایجاد نشده است (شکل ۱-د).

ناوه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در سامانه اول که در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است، در اثر سازوکار ایجاد شده بوسیله باد شمالی، عمیق‌تر می‌شود و به سوی شمال دریای سرخ امتداد می‌یابد. حرکت بالاسوی قوی که با هسته کمینه امگا (مؤلفه قائم باد در دستگاه مختصات فشاری) مشخص شده است، در بخش شرقی این ناوه قرار گرفته است (شکل ۲-الف). به‌تدریج که ناوه به سوی شرق حرکت می‌کند و جنوب و جنوب‌شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هسته کمینه امگا نیز به استان سیستان و بلوچستان منتقل می‌شود و شرایط را برای همرفت شدید در مناطق جنوب‌شرق ایران فراهم می‌سازد (شکل ۲-ب). در بررسی ارتفاع تراز میانی در سامانه دوم دیده شد که کم‌فشار بریده شرق دریای سیاه، در راستای نصف‌النهاری تا جنوب آن دریا جابجا می‌شود و مناطق شمال‌غرب، غرب و شمال ایران تحت تأثیر فعالیت بارشی این سامانه قرار گرفته است. هسته کمینه امگا در این سامانه نیز در بخش شرقی ناوه در شمال‌غرب ایران جای گرفته است که به تدریج با تغییر سامانه، شمال کشور را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل‌های ۲-ج و ۲-د). ناوه ارتفاع تراز میانی در سامانه اولی تا شمال دریای سرخ امتداد یافته است

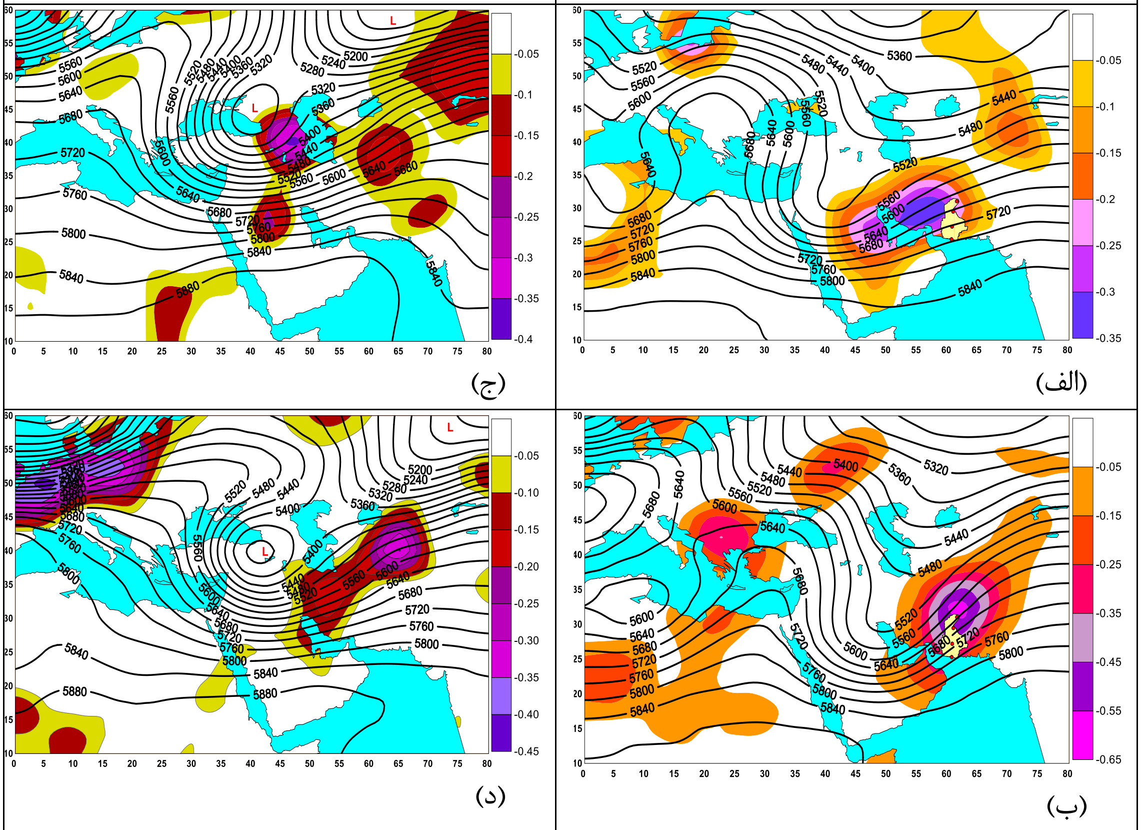
ولی ناوه کم‌فشار بریده شرق فقط تا جنوب آن دریا کشیده شده است؛ بنابراین نحوه امتداد جنوب‌سوی ناوه ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هر سامانه در منطقه تحت تأثیر فعالیت بارشی آن بسیار مؤثر است.

حرکت بالاسو در تراز میانی دو سامانه فوق، در اثر حرکت چرخندی و ایجاد تاوائی نسبی مثبت در شرق ناوه ارتفاع آن تراز ایجاد شده است. در سامانه اول که ناوه ارتفاع تراز میانی تا شمال دریای سرخ امتداد داشت، بیش‌ترین مقدار تاوائی نسبی مثبت در شمال دریای سرخ ایجاد شد (شکل ۳–الف) که منطبق با حرکت ناوه ارتفاع به سوی شرق، هسته بیشینه این کمیت نیز به سوی شرق حرکت کرد (شکل ۳–ب). این شرایط در سامانه دوم نیز مشاهده شد. در این سامانه هسته بیشینه تاوائی نسبی مثبت مطابق با حرکت ناوه کم‌فشار بریده، در جنوب دریای سیاه و سپس شمال غرب و شمال ایران قرار گرفت (شکل‌های ۳–ج و ۳–د).



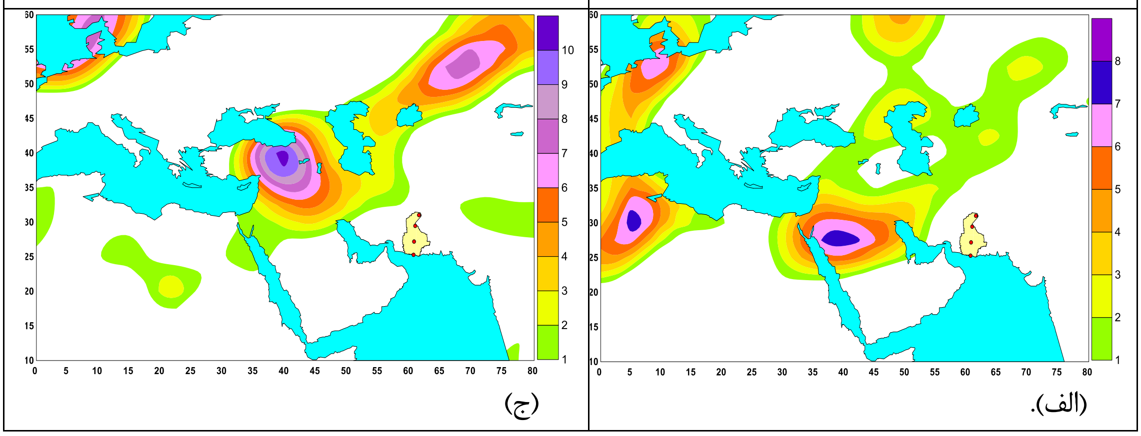
شکل ۱– میدان باد بیش از سی متر بر ثانیه در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ، الف) دهم ژانویه، ب) یازدهم ژانویه، ج) نهم فوریه و د) دهم فوریه ۲۰۲۰.

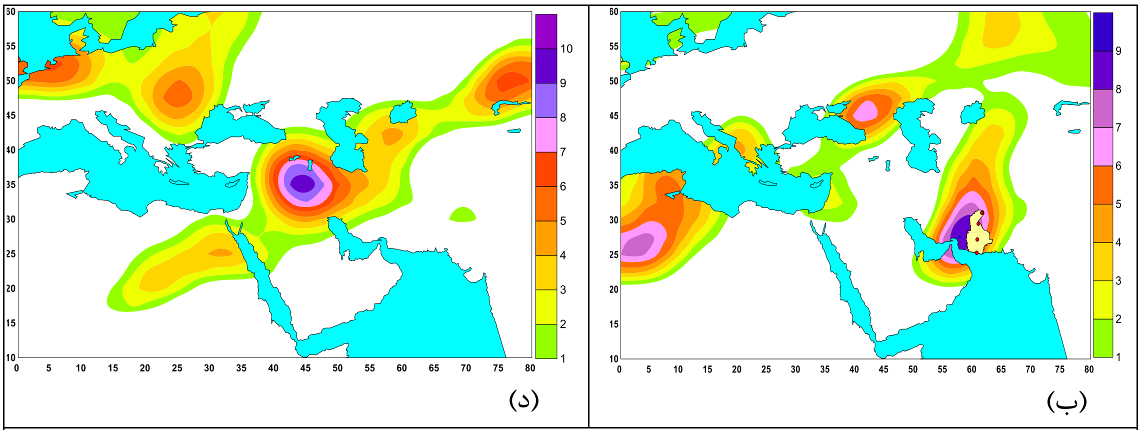
سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان



شکل ۲- گرته ارتفاع (ژئوپتانسیل متر) و مؤلفه قائم سرعت باد (پاسکال بر ثانیه) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. الف) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم ژانویه، ب) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه، ج) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز نهم فوریه و د) ساعت ۰۰۰۰ روز دهم فوریه ۲۰۲۰. پربندهای ارتفاع با فاصله ٤۰ ژئوپتانسیل متر رسم شده است.

سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان



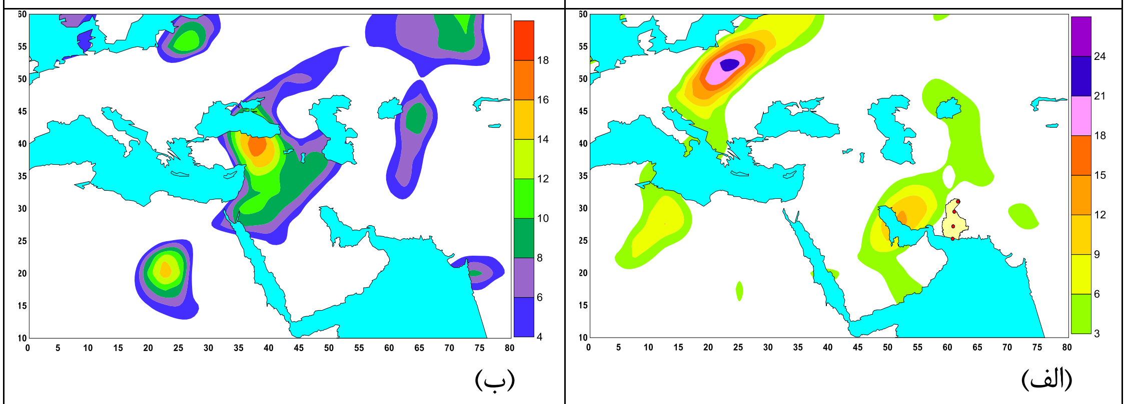


شکل ۳- میدان تاوائی نسبی مثبت (بر حسب $10^{-5}\ s^{-1}$) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، الف) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم ژانویه، ب) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه، ج) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز دهم فوریه و د) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم فوریه ۲۰۲۰.

بررسی فرارفت تاوائی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوسیله باد این تراز نیز نشان می‌دهد که مشابه میدان تاوائی نسبی مثبت، مقادیر بیشینه این کمیت به ترتیب در روی خلیج فارس و جنوب دریای سیاه قرار گرفته است که معرف محل توسعه هر دو سامانه در آن مناطق است (شکل‌های ٤-الف و ٤-ب).

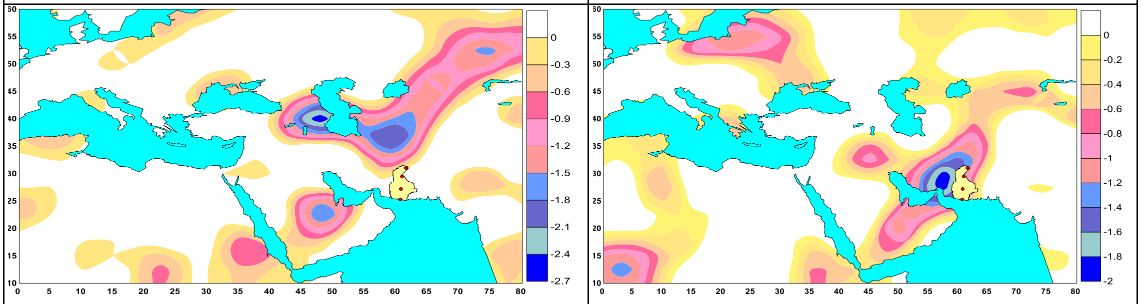
در سامانه اولی، بیشینه مقدار همگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، در غرب استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (شکل ٥-الف) و در سامانه دومی، بیشینه مقدار این کمیت در غرب دریای خزر ایجاد شده است (شکل ٥-ب)؛ بنابراین شرایط برای ایجاد یا توسعه میدان فشار سطح زمین در این مناطق فراهم شده است.

سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان



شکل ٤- گرته فرارفت تاوائی نسبی مثبت ($10^{-5}s^{-1}\ day^{-1}$) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ، الف) روز یازدهم ژانویه و ب) روز هشتم فوریه ۲۰۲۰.

سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان



(الف) (ب)

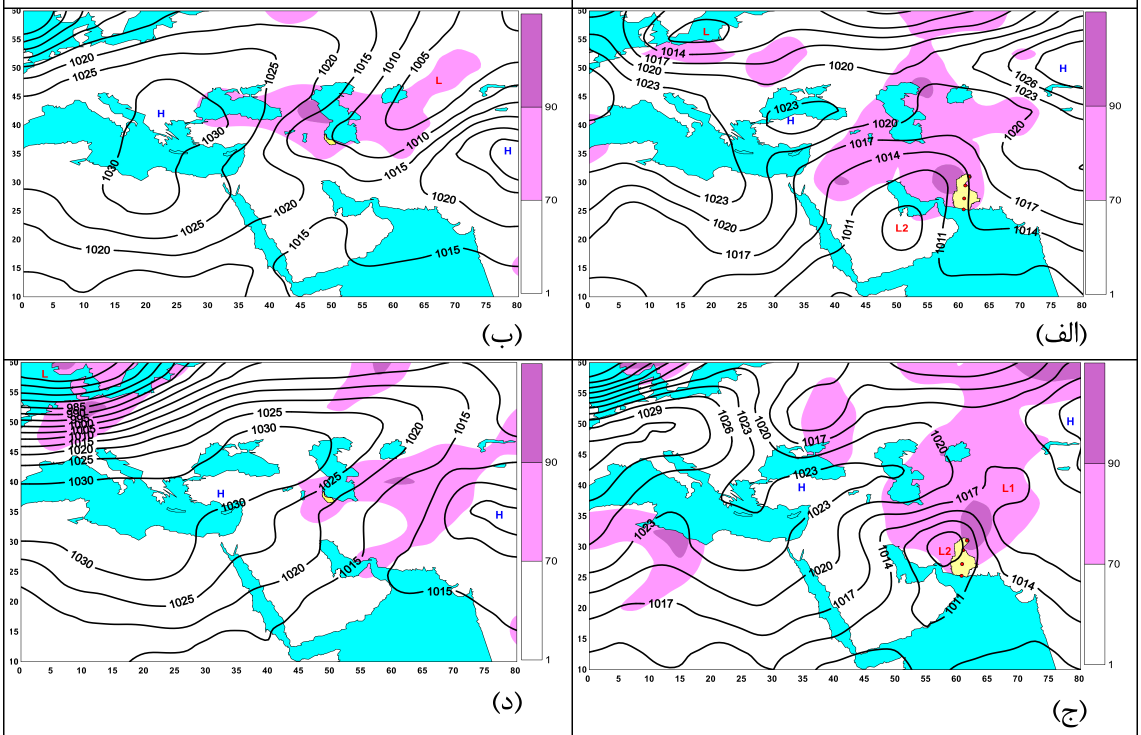
شکل ۵- میدان همگرایی (بر حسب $10^{-5}\ s^{-1}$) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ، الف) روز یازدهم ژانویه و ب) روز نهم فوریه ۲۰۲۰.

از بررسی میدان فشار سطح متوسط دریا دیده می‌شود که در سامانه اولی یک ناوه فشاری در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته اســت که به تدریج به دو بخش مجزای شمالی و جنوبی تبدیل می‌شود. هسته شمالی با عبور از غرب و مرکز ایران، به تدریج از شرق کشور خارج می‌شود و هسته جنوبی در جنوب شرق دریای سرخ با بخش شمالی ناوه فشــاری وارون دریای ســرخ ترکیب می‌شــود. این هسته به صورت یک مرکز کم‌فشار بسته به جنوب خلیج فارس جابجا می‌شود و ناوه آن با عبور از روی خلیج فارس، به مناطق جنوبی استان فارس امتداد می‌یابد. استان هرمزگان و نیمه غربی اســتان سیستان و بلوچستان در این ساعت تحت تأثیر جریان‌های جنوبی بخش شرقی این کم‌فشار قرار گرفته اســت. نفوذ پشــته فشاری روی اروپا به شرق دریای مدیترانه سبب شده است که یک مرکز پرفشار در روی دریای سیاه ایجاد شود و یک پشته فشاری نیز به غرب دریای سرخ امتداد یابد (شکل ٦-الف). مرکز کم‌فشار فوق به شمال تنگه هرمز حرکت کرده و دو ناوه شمالی و جنوبی آن به ترتیب به سوی شمال‌شرق و جنوب ایران امتداد یافته اســت. اســتان‌های هرمزگان و کرمان تحت تأثیر این کم‌فشــار قرار گرفته و اســتان سیستان و بلوچستان تحت تأثیر جریان‌های جنوبی این سامانه است (شکل ٦-ب). مقدار نم نسبی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در این حالت موردی در شرق و جنوب شرق ایران بیشتر است. بررسی میدان فشار در سامانه دومی نیز نشان می‌دهد که یک ناوه فشاری از مرکز کم‌فشــار واقع در شــمال دریای خزر، در راســتای نصــف‌النهاری به سوی جنوب دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه امتداد یافته است. این ناوه فشاری استان‌های ساحلی دریای خزر را تحت تأثیر قرار داده و هوای گرم را بر این نواحی حاکم کرده است. دو مرکز پرفشار نیز در طرفین این سامانه فشاری قرار گرفته است که مرکز یکی از آن‌ها در روی اروپا و مرکز دیگری در جنوب دریاچه بالخاش قرار دارد. پشته فشاری ناشی از مرکز پرفشار روی اروپا تا جنوب دریای مدیترانه امتداد یافته است و پشته فشاری ناشی از مرکز پرفشار روی جنوب دریاچه بالخاش نیز، شرق و جنوب‌شــرق ایران را تحت تأثیر قرار داده است. به تدریج که ناوه فشاری به سوی شرق حرکت می‌کند، به سبب

اختلاف سرعت آن در بخش‌های شمالی و جنوبی، محور ناوه در راستای شمال‌شرق–جنوب‌غرب کج می‌شود و خط مورب ناوه در سواحل دریای خزر قرار می‌گیرد (شکل ٦–ج). این سازوکار سبب می‌شود تا جریان‌های شمال‌شرقی، هوای سرد عرض‌های جغرافیایی بالاتر را به سواحل دریای خزر منتقل کنند. به تدریج محور ناوه از منطقه مطالعاتی عبور می‌کند و پشته فشاری ناشی از پرفشار مدیترانه نیمه غربی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نم نسبی تراز زیرین وردسپهر در این حالت در روی دریای خزر بیشتر از مناطق دیگر کشور است (شکل ٦–د).

بررسی کمیت‌های فوق نشان داد که هر دو سامانه تحت بررسی، مطابق با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های فشاری عرض‌های میانی توسعه یافته‌اند و از نظر ساختاری تفاوتی با هم ندارند. هر دو سامانه هسته سردی دارند ولی محل تشکیل و منطقه تحت تأثیر فعالیت بارشی آن‌ها با هم متفاوت است. این بررسی با نظر پژوهشگرانی که سامانه‌های فشاری که از جنوب وارد ایران می‌شوند را کم‌فشار گرمائی می‌دانند، متفاوت است.

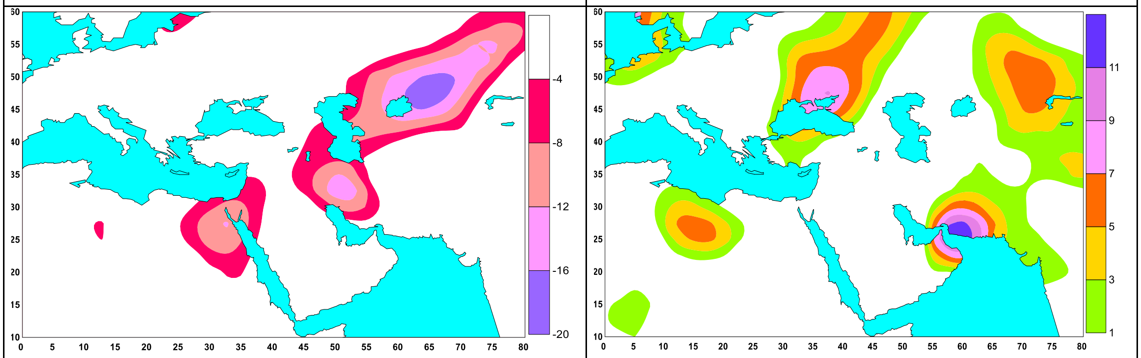
سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان



شکل ٦– میدان فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و نم نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (درصد)، الف) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز دهم ژانویه، ب) ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه، ج) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز نهم فوریه و د) ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز دهم فوریه ۲۰۲۰. هم‌فشارها با فاصله سه هکتوپاسکال رسم شده است.

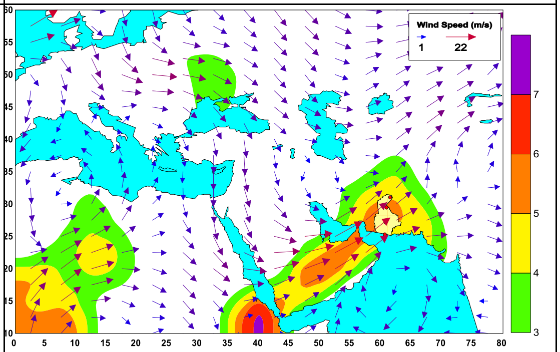
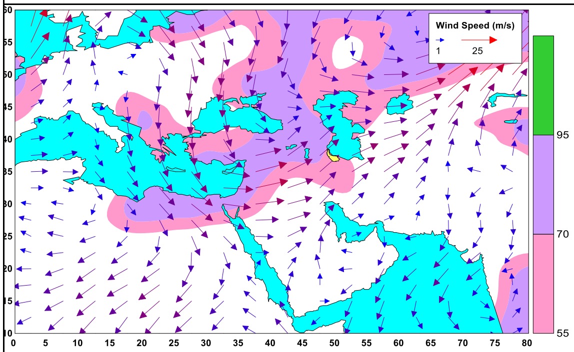
در سامانه اولی، بیشینه مقدار فرارفت هوای گرم تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با باد این تراز، در غرب استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (شکل ۷-الف) در حالیکه در سامانه دومی، بیشینه مقدار فرارفت هوای سرد در غرب دریای خزر ایجاد شده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم به منطقه تحت تأثیر ناوه که دارای هوای سردی است، سبب شده است تا تضاد دمائی در منطقه تحت تأثیر، شدت یابد. در سامانه دوم که هسته سردی دارد، فرارفت هوای سرد سبب تشدید فعالیت سامانه سرد شده است (شکل ۷-ب) و شرایط را برای ریزش بارش برف فراهم نموده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم، در سامانه دومی نیز فرارفت هوای سرد و عبور آن از روی آبهای دریای خزر، سبب افزایش انرژی گرمائی در لایه‌های زیرین شده است و شرایط همرفت را آسانتر کرده است. نم نسبی دو سامانه فوق از دو منبع مجزا تأمین شده است. این کمیت در سامانه اولی از تبخیر سطحی آبهای گرم دریای عمان و عرض‌های جنوبی انتقال یافته است (شکل ۸) و در سامانه دوم بخار آب موجود در دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای خزر به درون سامانه منتقل شده است (شکل ۹).

سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان | **سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان**



(الف) (ب)

شکل ۷: گرته فرارفت دمای هوا (بر حسب $K\ day^{-1}$) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. الف) فرارفت هوای گرم در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه و ب) فرارفت هوای سرد در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز نهم فوریه ۲۰۲۰.

سامانه منجر به سیل استان سیستان و بلوچستان	سامانه منجر به بارش برف سنگین استان گیلان
	
شکل ۸- میدان باد (متر بر ثانیه) و نم ویژه (گرم بر کیلوگرم) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز یازدهم ژانویه ۲۰۲۰.	**شکل ۹- میدان باد (متر بر ثانیه) و نم نسبی (درصد) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ گرینویچ روز هشتم فوریه ۲۰۲۰.**

٤-جمع‌بندی

در این تحقیق، نحوه فعالیت دو سامانه بارشی مختلف که در جنوب و شمال ایران با ایجاد به ترتیب سیل و برف سنگین مناطق مختلف استان‌های سیستان و بلوچستان و گیلان را تحت تأثیر قرار داده بود، بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در هر دو سامانه تحت بررسی، تقویت ناوه ارتفاع تراز میانی، ایجاد حرکت چرخندی و فرارفت تاوائی نسبی مثبت در شرق ناوه، وجود همگرایی در سطوح پایین، ایجاد یا تقویت کم‌فشار در سطح زمین در موقعیت شرق ناوه، در تشکیل و تقویت این دو سامانه بارشی که هردو هسته سردی دارند، نقش اصلی را برعهده داشتند. این سازوکارها با نظریه تشکیل و توسعه سامانه‌های کم‌فشار عرض‌های میانی هماهنگ است. آنچه این دو سامانه را از هم تفکیک کرده، نحوه تقویت و حرکت آنهاست که به‌طور کوتاه به آن‌ها اشاره می‌شود. جریان شمالی که در اثر تغییر نصف النهاری جت قطبی ایجاد شده است، در سامانه اولی تداوم بیشتری دارد. سرعت باد نیز در این جریان‌ها بیشتر است. این شرایط سبب شده است تا انحناء چرخندی ایجاد شده در محور جت جنب حاره‌ای، در سامانه اولی بیشتر شود و به سوی جنوب نیز امتداد یابد. در سامانه اولی این انحناء در شرق دریای سرخ و در سامانه دومی در شمال شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است. زاویه بین محور ناوه ارتفاع تراز میانی و خط افق در سامانه اولی بیشتر است و این ناوه به عرض‌های جنوبی‌تر امتداد یافته است. پس در این حالت، کم‌فشار سطح زمین در عرض‌های پایین‌تر تشکیل و تقویت شده است. در سامانه اولی فرارفت هوای گرم و مرطوب از عرض‌های جنوبی و آب‌های دریای عرب و دریای عمان سبب افزایش انرژی گرمایی شده است و شرایط مناسبی را برای بارش‌های همرفتی فراهم ساخته است. در سامانه دوم، فرارفت هوای سرد عرض‌های شمالی سبب تقویت کم‌فشار بریده و

افزایش حرکت چرخندی شده است. انتقال رطوبت مناسب از روی آب‌های گرم دریای خزر، دریای سیاه و دریای مدیترانه به درون سامانه نیز شرایط ریزش برف سنگین را فراهم کرده است.

کتابنامه

احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیر ماه ۱۳۹٤ شمال ایران. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. شماره ۳٤. صفحه ۱۰٤–۸۳.

خالدی، شهریار؛ کمالی، سمیه؛ محمدی، فهیمه؛ ۱۳۹٦. بررسی همدیدی برف سنگین جلگه گیلان در بهمن ۱۳۹۲. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. شماره ۱٤. صفحه ٤٦–۳۵.

راستگو، زهرا؛ رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ ۱۳۹۷. مطالعه بارش‌های شدید و حدی استان بوشهر از دیدگاه همدیدی–دینامیکی. *مجله هواشناسی و علوم جو*. شماره ۱. صفحه ۹٦–۷۷.

رضائی، پرویز؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ جعفرزاده، علیرضا؛ ۱۳۸۹. روند بارش برف در جلگه مرکزی گیلان و پیامدهای ناشی از آن. *مجله* چشم *انداز جغرافیایی*. شماره ۱۲. صفحه ٦۱–٤۷.

رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ تاجبخش، سحر؛ مرادی، محمد؛ ۱۳۹۷. مطالعه بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان. *نشریه هواشناسی و علوم جو*. شماره ۲. صفحه ۱۷٦–۱٦۳.

رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ سوری، معصومه؛ ۱۳۹٦. مطالعه بی‌هنجاری گردش‌های جوی همراه شده با فعالیت نوسان مادن–جولین و بارش زمستانه ایران. *مجله ژئوفیزیک*. شماره ۱. صفحه ٦۵–٤۹.

غفاریان، پروین؛ پگاه‌فر، نفیسه؛ اولاد، الهه؛ ۱۳۹٤. الگوهای جوی بزرگ مقیاس و همدیدی برف‌های سنگین استان گیلان. *مجله علمی ترویجی نیوار*. شماره ۸۸–۸۹. صفحه ۱٤–۳.

فهیمی نژاد، الهام؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی و فضایی توفان برف استان گیلان (فوریه ۲۰۰۵). *نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره ۱۹. صفحه ۳۰۲–۲۸۱.

قائد امینی اسدآبادی، حبیب‌الله؛ ناظم‌السادات، سید محمد جعفر؛ ۱۳۹۱. ارزیابی نشان پدیده نوسان‌های مان–جولیان بر رخداد بارش‌های روزانه استان‌های سیستان و بلوچستان و فارس. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ٦. صفحه ۱۳۷۲–۱۳۸۳.

مرادی، محمد؛ ۱۳۹۷. بررسی دوره برگشت سریع‌ترین باد سالانه در ایستگاه بوشهر. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. شماره ۳٦. صفحه ٤۲–۳۱.

معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی؛ ذوالفقاری، حسن؛ یاراحمدی، داریوش؛ ۱۳۹۲. تعیین سهم بارشهای همرفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۳۱. صفحه ۲٤۵–۲۲۷.

مومن‌پور، فروغ؛ نگاه، سمانه؛ هادی‌نژادصبوری، شبنم؛ مجتهدی، نیما؛ اسعدی‌اسکویی، ابراهیم؛ ۱۳۹۳. واکاوی سازوکار رخداد مخاطره برف‌های سنگین جلگه گیلان در نیم سده اخیر. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۹. صفحه ۳۶-۱۷.

ورشاویان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نوذر؛ حجام، سهراب؛ ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونهٔ اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. شماره ۱. صفحه ۱۷۹-۱۶۹.

Alexander, L.V. and Co 23-authors., 2006. Global observed change in daily climate extremes of temperature and precipitation. J.Geophys.Res.111: 1-22.

Changnon, S. A. and Changnon, D., 2005. Snowstorm catastrophes in the United States. Global Environmental Change Part B,Environmental Hazards. 6(3): 158-166.

Chen, C.S., Lin, Y.L., Hsu, N.N., Liu, C.L., Chen, C.Y., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the Post-Mei-Yu season. Atmos. Res. 101:595–610.

Chen, C.S., Lin, Y.L., Zeng, H.T., Chen, C.Y., Liu, C.L., 2013. Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season. Atmos. Res. 122:310–335.

Chen, C.Y., Y.L. Chen, C.S. Chen, P.L. Lin, and C.L. Liu., 2013. Revisiting the heavy rainfall event over northern Taiwan on 3 June 1984. Terr. Atmos. Oceanic Sci. 24: 999–1020,

Chen,Y.L., Ghu,Y.J., Chen, C.S. , Tu, C.C.,Teng, J.H. and Lin,P.L., 2018. Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event over Northern Taiwan during 11–12 June 2012.Monthly Weather Review. 146:2715-2697.

Kawase H., Sasai T., Yamazaki T., Ito R., Dairaku K., Sugimoto S., Sasaki H., Murata A., Nosaka M., 2018. Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. J Meteor Soc Japan. 96:161–178.

Kawase, H., Murata, A., Mizuta, R., Sasaki, H., Nosaka, M.,Ishii, M. and takayabu, I., 2016. Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. Climatic Change. 139: 265–278.

Kawase, H.,Yamazaki, T., Sugimoto, S., Sasai, T., Ito, R., Hamada, T., Kuribayashi, M., Fujita, M., Murata, A., Nosaka, M. and Sasaki, H., 2020. Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan. Progress in Earth and Planetary Science. 7 :2-17.

Lopez-Moreno, J.I., Goyette, S., Vicente-Serrano, S.M. and Beniston, M., 2011. Effects of climate change on the intensity and frequency of heavy snowfall events in the Pyrenees. Climatic Change. 105:489–508.

Matlik, O. and Post, P., 2008. Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961–2005. Estonian Journal of Engineering. 14(3):195–208.